

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ мікроелектроніки _____
(повна назва)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О. В. Борисов _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки _____ 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка» _____
(код і назва)

на тему _____ Термостабільність випромінювання в світельниках на основі _____
_____ триколірних світлодіодних матриць _____

Виконав: студент _____ 4 _____ курсу, групи _____ ДП-51 _____

_____ Найдьонов Арсеній Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник роботи _____ ст. викл. Надкерничний Степан Петрович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультанти:

з нормоконтролю _____ доц., к.т.н. Орлов А. Т. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

з інформаційних технологій _____ ст. викл., к.т.н. Діденко Ю. В. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) електроніки
(повна назва)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050801. Мікро- та наноелектроніка
(код, назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. В. Борисов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

групи ДП-51 Найдьонову Арсенію Олександровичу
(група, прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Цифровий експонометр

Керівник роботи Надкерничний Степан Петрович, ст. викл.
(прізвище, ім'я, по батькові, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджено наказом по університету від “ ” 2019 р. №

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) “ 04 ” червня 2019 р.

3. Вихідні дані роботи Спектр світла – видиме світло. Діапазон вимірювань – 5 – 20000 лк.

4. Перелік питань, які мають бути розроблені

а) основна частина – 1. Ознайомитися з принципами вимірювання освітленості. 2. Зробити огляд конструкції експонометрів. 3. Розробити структурну схему цифрового експонометра. 4. Обрати тип світлочутливого елемента для експонометра. 5. Розробка алгоритму обробки сигналу з світлочутливого елемента. 6. Розробити принципову схему експонометра. 7. Розробка програмного забезпечення для пристрою. 8. Виготовлення діючий макет пристрою. 9. Аналіз роботи пристрою та внесення коректив. Обговорення результатів досліджень та написання дипломної роботи.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1. Принцип вимірювання освітленості. 2. Види типових експонометрів, алгоритм роботи цифрового експонометра. 3. Блок-схема цифрового експонометра. 4. Принципова схема цифрового експонометра.

6. Консультанти розділів роботи:

з технологічних питань _____

(назва розділу)

(підпис, вчене звання, посада, ПІБ)

7. Дата видачі завдання “05” березня 2016 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання дипломної роботи**

№ з/п	Назва етапів виконання роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання
1	Зробити огляд конструкції експонометрів.	14.03.2019	
2	Розробити структурну схему цифрового експонометра.	21.03.2019	
3	Розробити алгоритм обробки сигналу з світлочутливого елемента.	20.04.2019	
4	Розробити принципову схему експонометра.	30.04.2019	
5	Розробка програмного забезпечення для пристрою.	09.05.2019	
6	Виготовлення діючого макету пристрою.	20.05.2019	
7	Написання дипломної роботи.	04.06.2019	

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

А. О. Найдьонов

(ініціали, прізвище)

Керівник дипломної роботи _____

(підпис)

С. П. Надкерничний

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 50 сторінках, вона містить 3 розділи, 18 ілюстрацій, 3 таблиці та 25 джерел в переліку посилань.

Об'єктом дослідження став цифровий експонометр.

Предмет роботи – розробка цифрового експонометра.

Метою даної роботи є проектування пристрою, який допоможе правильно експонувати негативну фотоплівку.

В першому розділі роботи йдеться про методи вимірювання освітленості.

У другому розділі представлено огляд конструкції існуючих зразків експонометрів.

Третій розділі присвячено формуванню технічного завдання, проведенню вибору електронних компонентів та здійсненню проектування електронного експонометра, а також виготовленню діючого макета та його наладці.

ABSTRACT

The work is presented in 50 pages, it contains 3 sections, 18 illustrations, 3 tables and 25 sources in the list of references.

The object of the study was a digital exposure meter.

The subject of work is the development of a digital exponometer.

The purpose of this work is to design a device that will help to correctly espouse negative film.

The first section of the paper deals with the methods of measuring light.

The second section presents an overview of the design of existing samples of exposure meters.

The third section is devoted to the development of a technical task, the choice of electronic components and the design of an electronic exponometer, as well as the production of the current layout, then its setup.

ЗМІСТ

<u>АНОТАЦІЯ</u>	4
<u>ЗМІСТ</u>	6
<u>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ</u>	8
<u>ВСТУП</u>	10
<u>1. ПРИНЦИП ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНOSTІ ТА ЕКСПОНУВАННЯ ФОТОМАТЕРІАЛУ</u>	11
<u>2. ОЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ЕКСПОНОМЕТРІВ</u>	21
<u>2.1 Перші експонометри</u>	21
<u>2.2 Фотоелектричні експонометри</u>	22
<u>2.3 Вбудовані експонометри</u>	24
<u>3. ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЕКСПОНОМЕТРА</u>	28
<u>3.1 Розробка технічного завдання</u>	28
<u>3.2 Вибір типу будови експонометра</u>	30
<u>3.3 Розробка структурної схеми приладу</u>	31
<u>3.4 Вибір датчика освітленості</u>	32
<u>3.4.1 Технічні характеристики напівпровідникового датчика освітленості MAX44009</u>	32
<u>3.6 Вибір модуля обробки даних</u>	38
<u>3.5 Вибір модуля виводу інформації</u>	39
<u>3.7 Розробка електронної схеми пристрою</u>	40
<u>3.8 Розробка алгоритму роботи приладу</u>	43
<u>3.9 Розробка програмного забезпечення приладу</u>	44
<u>3.9.1 Лістинг програмного забезпечення приладу</u>	46
<u>3.10 Виготовлення діючого макету</u>	49

<u>3.11 Наладка пристрою.</u>	50
<u>ВИСНОВКИ</u>	51
<u>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</u>	52

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

CMOS – (complementary metal-oxide-semiconductor) - технологія для побудови інтегральних мікросхем.

ISO – світлочутливість плівки.

F - в оптичній системі (наприклад, об'єктив камери) - це відношення фокусної відстані системи до діаметра входного отвору. Це безрозмірне число, що є кількісною мірою світлосили об'єктива.

T – швидкість затвору. Інтервал часу, протягом якого світло експонує ділянку світлочутливого матеріалу або світлочутливої матриці.

I2C - послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами всередині електронних приладів. Використовує дві двонаправлені лінії зв'язку (SDA і SCL), застосовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з процесорами і мікроконтролерами.

UART – (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - вузол обчислювальних пристроїв, призначений для організації зв'язку з іншими цифровими пристроями.

OLED – (organic light-emitting diode) - органічний світлодіод.

EEPROM – (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) - електрично перезаписувана перепрограмована ПЗУ (ЕСППЗУ), один з видів енергонезалежної пам'яті.

TTL – (through the lens) - різноманітність вбудованого експонетра, що вимірюється яскравістю знімків, безпосередньо через знімний об'єктив фотоапарата або кінокамери.

EV – (Exposure Value) – експозиційне число.

E, лк – освітленість - відношення світлового потоку, що падає на елемент поверхні, що містить цю точку, до площі цього елемента.

e , % - коефіцієнт природньої освітленості - відношення природної освітленості, яка створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба (безпосереднім або після відбивання), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, створюваної світлом повністю відкритого небосхилу.

E_{\min} , лк — мінімальна освітленість - найменше значення освітленості в приміщенні, на освітленому ділянці, в робочій зоні.

E_{ϕ} , лк — середня освітленість - освітленість, усереднена по площі освітлюваних приміщень, ділянки, робочої зони.

E_V , лк — циліндрична освітленість - характеристика насиченості приміщення світлом, що визначається як середня щільність світлового потоку на поверхні вертикально розташованого в приміщенні циліндра, радіус і висота якого наближаються до нуля.

ВСТУП

З кожним роком плівкова фотографія все сильніше повертається у маси. Люди починають цінити плівку як засіб збереження та відтворення зображення, все частіше дістають з полиць старі плівкові камери, у яких відсутні пристрої для правильного встановлення експозиції, що приводить до неправильного експонування плівки (на око) користувачем та в подальшому – перекспонованого або недоекспонованого фотоматеріалу і як наслідок – втрачених світлин. Під час написання данної дипломної роботи була встановлена мета - розробити пристрій для вимірювання освітленості та вирахування правильних експонетричних величин для плівкової фотографії – цифровий експонетр.

Прилад необхідно розробити на сучасній матеріально-технічній базі з використанням недорогих елементів, які дозволять наблизити пристрій за технічними параметрами до існуючих ринкових зразків.

1. ПРИНЦИП ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНOSTІ ТА ЕКСПОНУВАННЯ ФОТОМАТЕРІАЛУ

Освітленість чисельно дорівнює світловому потоку, що падає на ділянку поверхні одиничної площі:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{d\sigma}$$

Одиницею вимірювання освітленості в Міжнародній системі одиниць (СІ) є люкс (лк) (1 люкс – це 1 люмен на квадратний метр), в СГС - фот (один фот – це 10 000 люксів)

Освітленість прямо пропорційна силі світла джерела світла. При віддаленні його від освітлюваної поверхні її освітленість зменшується оберненопропорційно квадрату відстані до нього (Закон зворотних квадратів).

Коли промені світла падають похило до освітлюваної поверхні, освітленість зменшується пропорційно косинусу кута падіння променів до нормалі.

Освітленість E_v від точкового джерела знаходять за формулою:

$$E_v = \frac{I_v}{r^2} \cos i$$

де I_v це сила світла в канделах; r — відстань до джерела світла; i — кут падіння світла відносно нормалі до вимірюваної поверхні.

Зонна теорія Адамса

Зонна теорія Адамса, зонна система експозиції - метод визначення оптимальної експозиції в фотографії і параметрів лабораторної обробки отриманого знімка, сформульований фотографами Ансель Адамс і Фредом Арчером в 1939-1940 роках. Широку популярність теорія отримала після 1948 року, коли була опублікована в книзі «The Negative». Зонна система дозволяє точно керувати відображенням яскравості деталей сцени, що знімається, і

0	Абсолютно чорний тон: дуже глибокі тіні, повна відсутність деталей.
---	---

прогнозувати їх оптичну щільність на готовому зображенні відповідно до творчого задуму. Сам Адамс вважав свою теорію кодифікацією сенситометрії, призначеної для спрощення її практичного застосування.

Зонна система була розроблена для листової чорно-білої негативної фотоплівки, що дозволяє індивідуально підбирати поєднання експозиції та режиму прояви для кожного знімка. Однак, теорія частково може бути застосована і до рулонних фотоматеріалів за умови відмови від регулювання контрасту. Крім того, система може бути оптимізована і для інших типів фотоматеріалів, в тому числі кольорових і для цифрової фотографії і кінематографа. Адамсу вдалося успішно застосувати розроблені ним принципи навіть для фотоматеріалів одноступенного фотопроцесу, властивості яких істотно відрізняються від будь-яких інших технологій реєстрації зображення. Однак, у всіх цих випадках потрібні поправки через відмінності фотографічної широти, в результаті яких може змінюватися число зон і їх розташування на шкалах.

В основу зонної теорії покладено принцип, що виходить із того, що весь діапазон яскравостей, доступний для відтворення при негативно-позитивному процесі, можна грубо розбити на 10 ділянок, які отримали назву зон. При цьому, ширина всіх зон і розмір кроку між ними однакові і відповідають одному шаблі експозиції, тобто її зміні в 2 рази. Поділу на зони піддаються як візуально помітні яскравості об'єкту зйомки, так і прямолінійний ділянку характеристичної кривої негативного фотоматеріалу, який відповідає за пропорційне відтворення півтонів. Базовими вважаються чотири зони, легко відрізняється неозброєним оком: «абсолютно чорна» зона 0, середнесерая V, зона правильного відображення тонів шкіри VI і зовсім біла X. Іноді на практиці шкали яскравості і щільності розбиваються на меншу кількість зон, найчастіше на сім, доступних найбільш поширеним фотоматеріалів.

I	Самі темні тони, близькі до чорного: глибока тінь - без деталей, але з ознаками фактури. У кольорових фотографіях допустимі спотворення кольору
II	Поява перших деталей в тінях: складки, переломи, контурні лінії і т. Д. У кольорових фотографіях допустимі спотворення кольору.
III	Не зовсім чорний: помірно темні тони.
IV	Середня по щільності тінь при сонячному освітленні в ясний день. Засмаглі люди, насичена за кольором трава, дерева.
V	Стандартний сірий тон (відбивна здатність 18%). Нормальний загар.
VI	Чисте небо, будови з білого матеріалу. Ключова зона, відповідна правильному відображенню осіб і людської шкіри
VII	Світло-сірі, пастельні тони; друкарський текст на білому папері.
VIII	Білий тон з деталями і фактурою. Сніг з фактурою.
IX	Білий тон з мінімумом деталей або фактурою. Сяючий сніг.
X	Абсолютно білий тон без деталей, сонячні відблиски.

Таблиця 1. Опис зон, які використовуються в теорії Адамса

При використанні стандартних фотоматеріалів і дотриманні умов проявки, що забезпечують нормальний контраст зображення, тони об'єкту зйомки відтворюються пропорційно, тобто, якщо один з тонів відтворений вірно, то всі інші будуть розташовуватися щодо нього у відповідному порядку. Під час зйомки, виходячи з цього правила визначається ключовий об'єкт і експозиція, необхідна для його відображення в потрібному місці шкали оптичної щільності напрямної рамки. Таким чином досягається ефективне використання фотографічної широти або навмисний зсув півтонів знімка в потрібному напрямку.



Рисунок 1. Відображення яскравостей на негативі.

Адаптованою версією цієї системи є Експозиційне число (EV, Exposure Value).

Значення експозиції, (англ. Exposure Value, EV) - умовне ціле число, однозначно характеризує експозицію при фото- і кінозйомки. Одному і тому ж експозиційного числа можуть відповідати різні комбінації витримки та діафрагми (експопари), але одне і те ж кількість світла, що потрапляє на фотоматеріал. Відповідно до закону взаємозаміни ці поєднання за дією на світлочутливий матеріал рівнозначні і відповідають одному і тому ж значенню експозиційного числа. При цьому, значення експозиції не є фотометричною величиною і без конкретного значення світлочутливості не може бути однозначно порівняною з освітленістю і яскравістю.

Крок логарифмічної шкали експозиційних чисел, відповідний дворазовій зміні експозиції, прийнято називати експозиційним щаблем. Поняття експозиційного числа розроблено в 1954 році німецьким конструктором фотозатворів Фрідріхом Декелем для спрощення підбору поєднання експозиційних параметрів. Зміна поєднання витримки і діафрагми при постійному експозиційному числі дозволяє регулювати глибину різкості і передачу руху без відхилення загальної експозиції.

Первісне позначення E_v , прийняте як один зі стандартів ISO, згодом трансформувалося в сучасну англійський акронім EV або eV, що отримав статус міжнародного символу. Шкала експозиційних чисел заснована на логарифмічній залежності з основою 2:

$$EV = \log_2 \frac{N^2}{t}$$

де N відповідає діафрагмовому числу, а t - часу експозиції в секундах. Світлочутливість при цьому мається на увазі рівній ISO 100.

Якщо ж вона відрізняється, то значення EV змінюється на значення, яке дорівнює кількості ступенів на яку чутливість відрізняється від 100.

Таким чином, значення EV 0 відповідає експозиції з витримкою в 1 секунду при відносному отворі $F/1,0$ при чутливості світлоприймачів рівній 100. Якщо в даному випадку змінити світлочутливість, наприклад, на ISO 800, то EV прийме негативне значення -3. Однак, при цьому ж значенні експозиційного числа можливі й інші комбінації витримки та діафрагми: 2 секунди при $f / 1,4$; 4 секунди при $f / 2,0$; 8 секунд при $f / 2,8$ і так далі. При будь-якому з цих поєднань експозиція, що отримується фотоматеріалом або фотоматрицею, буде постійною, а змінюватися будуть глибина різкості і величина змазування рухомих об'єктів. Кожна зміна експозиційного числа на одиницю, зване щаблем (жаргонна назва «стоп»), відповідає зміні експозиції вдвічі. Так, зменшення на одиницю відповідає більш короткій витримці або закриттю діафрагми на один «стоп».

Проте, значення експозиції не є фотометричною величиною, а характеризує співвідношення між конкретними значеннями експозиційних параметрів, безпосередньо не пов'язане з яскравістю і освітленістю. Як відомо, фотометрическое поняття експозиції виражається залежністю:

$$H_V = E * t$$

де H_V - експозиція, E - освітленість в площині дійсного зображення, а t - витримка. Освітленість E залежить від відносного отвору об'єктива і яскравості об'єкту зйомки, яка не враховується експозиційним числом. Щоб уникнути плутанини замість експозиційного числа частіше використовується поняття експозиційні параметри, а виробники фотоапаратів віддають перевагу терміну «Експозиційні установки камери» (англ. Camera Exposure Settings). Система експозиційних чисел, стала основою для адитивної шкали APEX, прийнятої в США у вигляді стандарту ASA PH2.15-1964.

Таблиця 2. Значення експозиційного EV числа для різних експозиційних параметрів.

	Відносний отвір, F												
Витримк а, с	f/1, 0	f/1, 4	f/2, 0	f/2, 8	f/4, 0	f/5, 6	f/8, 0	f/1 1	f/1 6	f/2 2	f/3 2	f/4 5	f/6 4
60	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
30	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
15	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
8	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1/8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1/15	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1/30	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/60	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1/125	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

1/250	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1/500	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1/1000	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1/2000	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1/4000	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1/8000	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Взаємозв'язок з яскравістю і освітленістю.

При відомій світлочутливості існує прямий взаємозв'язок між експозиційним числом і такими фотометричeskими величинами, як яскравість і освітленість. Правильна експозиція при даних світлових умовах і світлочутливості визначається за допомогою рівності:

$$\frac{N^2}{t} = \frac{L \cdot S}{K}$$

де

N - діафрагма;

t - витримка в секундах;

L - усереднена яскравість сцени в канделах на м²;

S - числове значення світлочутливості ISO;

K - калібрувальний коефіцієнт експометра [17];

Використовуємо в логарифм формули експозиційного числа замість лівої праву частину цієї рівності. Тоді число EV визначається за допомогою виразу:

$$Ev = \log_2 \frac{L \cdot S}{k}$$

Коефіцієнт К підбирається виробниками самостійно і найчастіше дорівнює 12,5 (в тому числі у Canon, Nikon і Seconic). В цьому випадку і при світлочутливості ISO 100 залежність виглядає, як рівність:

$$L = 2^{EV-3}$$

Використовуючи цю залежність, за допомогою експонетра можна вимірювати яскравість світла, відбитого від об'єкту зйомки.

Таблиця 3. Відповідність експозиційних чисел і яскравості (для ISO 100 і коефіцієнта К = 12,5) і освітленості (для ISO 100 і коефіцієнта С = 250)

EV ₁₀₀	Яскравість		Освітленість	
	кд/м ²	фут-ламберт	Люкс	фут/кд
-4	0.008	0.0023	0.156	0.015
-3	0.016	0.0046	0.313	0.029
-2	0.031	0.0091	0.625	0.058
-1	0.063	0.018	1.25	0.116

0	0.125	0.036	2.5	0.232
1	0.25	0.073	5	0.465
2	0.5	0.146	10	0.929
3	1	0.292	20	1.86
4	2	0.584	40	3.72
5	4	1.17	80	7.43
6	8	2.33	160	14.9
7	16	4.67	320	29.7
8	32	9.34	640	59.5
9	64	18.7	1280	119
10	128	37.4	2560	238
11	256	74.7	5120	476
12	512	149	10,240	951

13	1024	299	20,480	1903
14	2048	598	40,960	3805
15	4096	1195	81,920	7611
16	8192	2391	163,840	15,221

Визначення залежності дає порівняно точні результати для відбитого світла. При вимірі падаючого світла (освітленості) додаткові різночитання можуть привноситися типом вимірювального сенсора, які діляться на дві головні різновиди: плоскі і напівсферичні з різним розподілом напрямків чутливості. При вимірі плоским світлоприймачів найчастіше використовується коефіцієнт $C = 250$, а залежність при ISO 100 набирає вигляду:

$$E = 2,5 \times 2^{EV}$$

2. ОЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ЕКСПОНОМЕТРІВ

2.1 Перші експонметри

У перші десятиліття після винаходу фотографії правильна експозиція визначалася на підставі досвіду фотографів або тестової зйомки. Відсутність будь-яких понять про сенситометрії не дозволяв кількісно вимірювати залежність почорніння дагеротипних пластин від інтенсивності освітлення. Перший сенситометричний прилад для дагеротипії створений в 1843 році Левандовським.

Поява більш передбачуваному мокрому колоїдного фотопроцесу дало можливість скласти правила експонування і сконструювати перші табличні експонметри. Вони являли собою таблицю, в якій описані умови зйомки і відповідні їм параметри. Таблиці призначалися для коллодіонних пластин, сенсібілізованих певним чином, і не були універсальними.

Першими пристроями для інструментального вимірювання експозиції стали актінографи, засновані на оцінці потемніння фотопаперу з «денним проявом» при її засвітці.

Однак, фотопапір вимагав тривалого експонування протягом 20 - 30 хвилин, сповільнюючи приготування до зйомки. Більш оперативне вимір забезпечували прилади, засновані на візуальній оцінці яскравості об'єктів зйомки через оптичний клин зі змінною прозорістю. Такі пристрої, що отримали назву оптичних фотометрів.

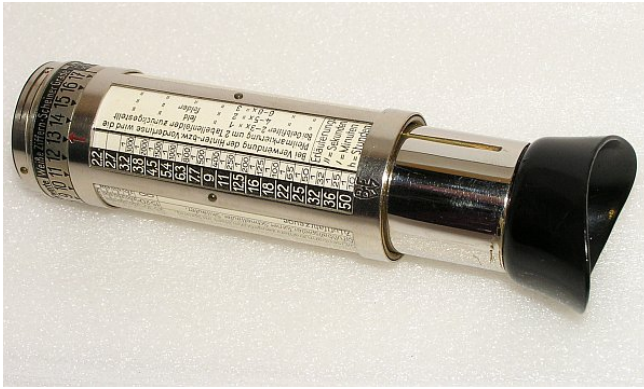


Рисунок 2. Оптичний фотометр

Більш досконалим способом виявилось порівняння яскравості об'єкту зйомки з каліброваним джерелом світла, наприклад лампою розжарювання. Яскравість лампи зрівнювалася з яскравістю об'єкта підбором щільності клинового нейтрального світлофільтра, встановленого в спеціальній рухомій оправі, яка сполучалася з відповідною шкалою. Необхідність джерела живлення для лампи виключала можливість використання цього методу при натурних зйомках. Принцип зрівнювання яскравості еталонної лампи використаний в наскрізному візирі деяких модифікацій кінознімального апарату «Arriflex 35-II».

2.2 Фотоелектричні експонетри

Точність вимірювання, не залежну від суб'єктивних чинників, вдалося отримати тільки з появою фотоелектричних експонетрів. Їх дія заснована на вимірі величини електрорушійної сили, що отримується в результаті фотоелектричного ефекту.

Одним з перших селенових безбатарейний експонетрів став «Weston» моделі 617, випущений компанією Weston Electrical Instruments в серпні 1932 року. Відсутність батареї дозволило зменшити прилад до кишенькових розмірів.

Перші фоторезисторні експонетри будувалися на основі серністокадмієвого (CdS) фотоопору, який володіє гарною світлочутливістю, але великою інерційністю, особливо в умовах слабого освітлення. Кремнієві фотодіоди позбавлені цього недоліку, але їх спектральна чутливість, максимум якої лежить в інфрачервоній області, змушує встановлювати додатковий

світлофільтр для приведення у відповідність з характеристиками фотоматеріалів і фотоматриці. Необхідність посилення дуже слабких змін провідності такого фотодіода збільшує споживання електроенергії, знижуючи рівень автономності. Найбільш досконалим типом сенсора вважаються практично безінерційні арсеніду-фосфідо-галієві фотодіоди зі спектральною чутливістю, близькою до людського зору.

Одним з найпопулярніших фотоелектричних експонетрів став експонетр Ленінград-7.

Це експонетр на селеновому фотоелементі з електродом з окису кадмію, який має два діапазони вимірювань за яскравістю і три діапазони по освітленості. Шкала діафрагм від 1,4 до 22, шкала витримок від 1/2000 до 30 сек. Шкала введення світлочутливості від 2,8 до 1400 од. ГОСТ або від 3 до 1600 ASA. Кут сприйняття яскравості, вимірюваної на другому і першому діапазоні, без молочної насадки складає: горизонтальний - 60 °, вертикальний - 40 °.

Ознайомимося з його принциповою схемою:

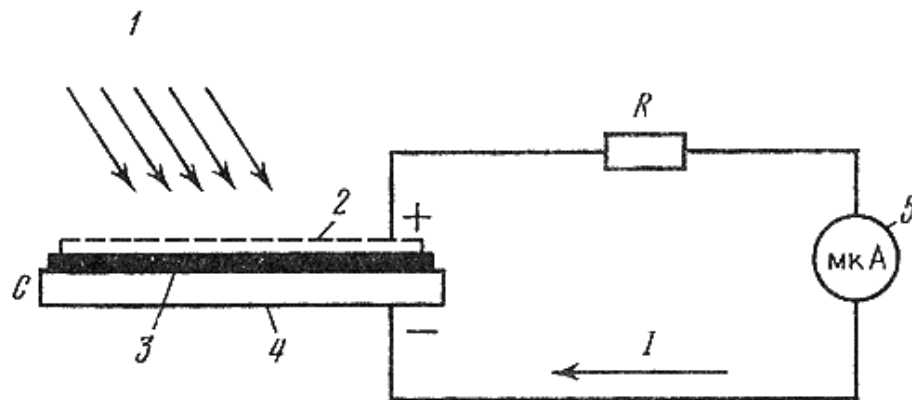


Рисунок 3. Принципова схема експонетра Ленінград-7.

1. Світловий потік.
2. Шар позолоти.
3. Селеновий шар.
4. Залізна пластина.

5. Мікроамперметр.

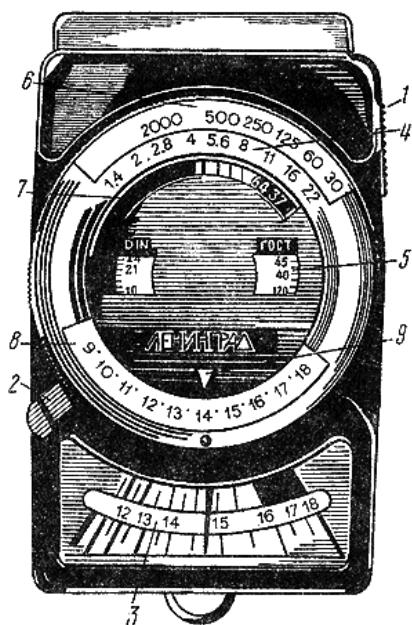


Рисунок 4. Зовнішній вигляд експонетра Ленінград-7.

2.3 Вбудовані експонетри

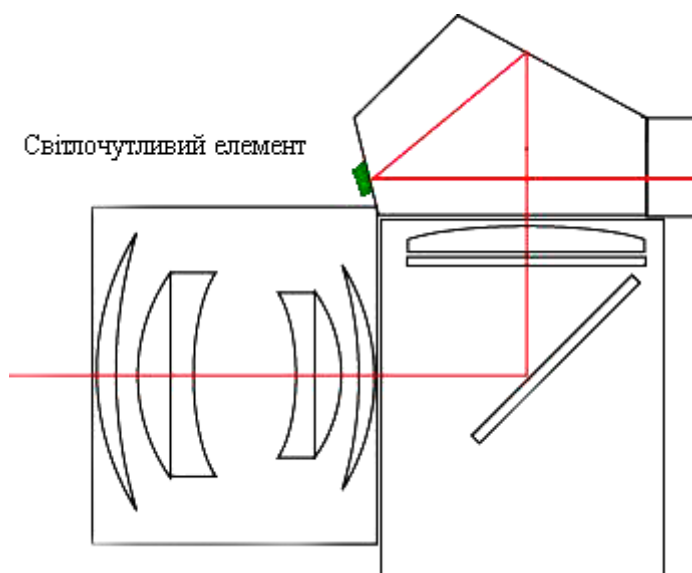


Рисунок 5. Приставний селеновий експонетр камери «Leica M3»

Вперше вбудований експонетр використаний компанією Zeiss Ikon в камері «Contaflex» в 1935 році. Однак, зйомка на чорно-білі негативні фотоматеріали з великою фотографічною широтою в ті роки дозволяла в багатьох випадках обходитися без експонетра, покладаючись на найпростіші правила або професійний досвід. Тому до кінця 1960-х років переважна частина фото- і кінотехніки не оснащуються вбудованими експонетричного пристроями, здорожує апаратуру.



Рисунок 6. Перший у світі фотоапарат з TTL-експонетром Topcon RE-



Super (1963)

Рисунок 6. Розташування світлочутливого елементу у камері з TTL-експонометром.

З середини 1970-х років вбудовані показчики часу витримки практично всіх однооб'єктивних дзеркальних фотоапаратів і кінокамер з наскрізним візиром розраховувалися на заоб'єктивний вимір. Особливості TTL-експонометрів дозволили реалізувати паралельне вимір окремих частин знімається зображення з подальшою автоматичною компенсацією контрасту сюжету. Сучасні TTL-експонометр дозволяють здійснювати як точковий вимір, так і оціночний, заснований на порівнянні експозиції окремих частин майбутнього знімка і програмною обробкою отриманих результатів на основі статистичного аналізу.



Рисунок 7. Цифровий експонометр «Sekonic»

Цифрові показчики часу витримки крім величини яскравості і освітленості можуть вимірювати і інші фотометричні величини, наприклад, колірну температуру освітлення. Такі прилади називаються вимірювачами температури кольору або в кінематографічному побуті - кольоромірами. Найбільш досконалі прилади дозволяють кількісно оцінювати спектральний склад знімальної освітлення. У 2014 році компанія Seconic почала випуск

приладу «Seconic C-700», що визначає крім експозиції і колірної температури, детальну картину розподілу спектра будь-яких джерел світла.

3. ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЕКСПОНОМЕТРА

Для того, щоб описати технічні вимоги до майбутнього пристрою нам необхідно визначитися з граничними величинами наступних параметрів:

1. Найбільша та найменша освітленість, під час якої буде використовуватися пристрій.
2. Найбільша та найменша світлочутливість (ISO) фотоматеріалу, який буде використовуватися.
3. Найбільший та найменший відносний отвір (F/x) оптики, яка буде використовуватися.
4. Найбільша та найменша можлива швидкість затвору або витримка (T), що буде використовуватися.

3.1 Розробка технічного завдання.

Для вибору діапазону чутливості світлочутливого елементу оцінемо можливу освітленість, поїд час якої проводиться фотозйомка.

Таблиця 4. Таблиця освітленості навколишнього середовища за різних погодніх умов та у різний час доби.

Умови освітленості у навколишньому середовищі	Освітленість, лк
Найбільша можлива освітленість у сонячний день.	130 000
Стандартна освітленість влітку у середніх широтах	17 000
Освітленість у хмарну погоду влітку опівдні	12 000

При кінозйомці у студії	10 000
Стандартна освітленість взимку у середніх широтах.	5 000
На футбольному стадіоні (штучне світло)	1200
На відкритому місці у хмарний день	1000 - 2000
Схід і захід сонця у безхмарну погоду	1000
У світлій кімнаті поблизу вікна	1000
На робочому місці для кропітких робіт	400 - 500
На екрані кінотеатру	85 - 120
Необхідна освітленість для читання	30 - 50
У морі на глибині 50 — 60 м	до 20
Вночі у повний місяць	0,2
Вночі без місяця	0,001 - 0,002

Виходячи з того, що параметри існуючого на даний момент фотоматеріалу не дозволяють нам проводити зйомку вночі у повний місяць, то за нижній поріг можемо вибрати освітленість у 1 lux. Водночас з цим найбільша можлива освітленість на сонці на планеті не перевищує 100000 lux. Тобто за верхній поріг ми можемо прийняти 100000 lux.

Виходячи з цього світлочутливість сенсора повинна бути на рівні **1 - 100000 lux**.

Найбільша та найменша світлочутливість існуючої плівки лежить у межах від ISO 50 до ISO 12800 відповідно.

Найбільший існуючий відносний отвір у серійних об'єктивах – F/1.2. Найменший – F/32.

Найменша витримка у існуючих камерах – 1/8000 с. Найбільша витримка вираховується з параметрів ISO та T, тому не будемо встановлювати верхню межу витримки.

З цього маємо, що майбутній прилад має працювати у межах таких діапазонів:

- 1. Освітленість від 1 до 100000 лк.**
- 2. Діафрагма від F/1.2 до F/32**
- 3. Швидкість затвору від 1/8000 с до ∞ с.**

3.2 Вибір типу будови експонетра

Вивчивши різноманітні конструкції експонетрів можу відмітити, що експонетр повинен мати низку базових елементів, такі як світлочутливий елемент, інтерфейс вводу налаштувань вхідних даних, інтерфейс виводу інформації користувачеві, блок проведення розрахунків.

Для даного приладу пропоную вибрати такі базові елементи: інтерфейсом вводу інформації будуть тактові кнопки, інтерфейсом виводу інформації –

OLED-дисплей та світлодіодна індикація. В якості блоку обробки інформації логічно використовувати мікроконтролер.

Виходячи з цих даних пропоную розробити принципову схему цифрового експонометра.

3.3 Розробка структурної схеми приладу

Структурна схема складатиметься з чотирьох функціональних блоків. Модуль вимірювання – світлочутливий елемент, модуль вводу параметрів – тактові кнопки з обв'язкою, модуль обробки даних – мікроконтролер з обв'язкою та модуль виводу інформації – OLED-дисплей з обв'язкою. Модуль обробки даних отримує дані від модуля вимірювання та від модуля вводу параметрів та проводячи обчислення виводить інформацію користувачеві за допомогою модуля виводу інформації.

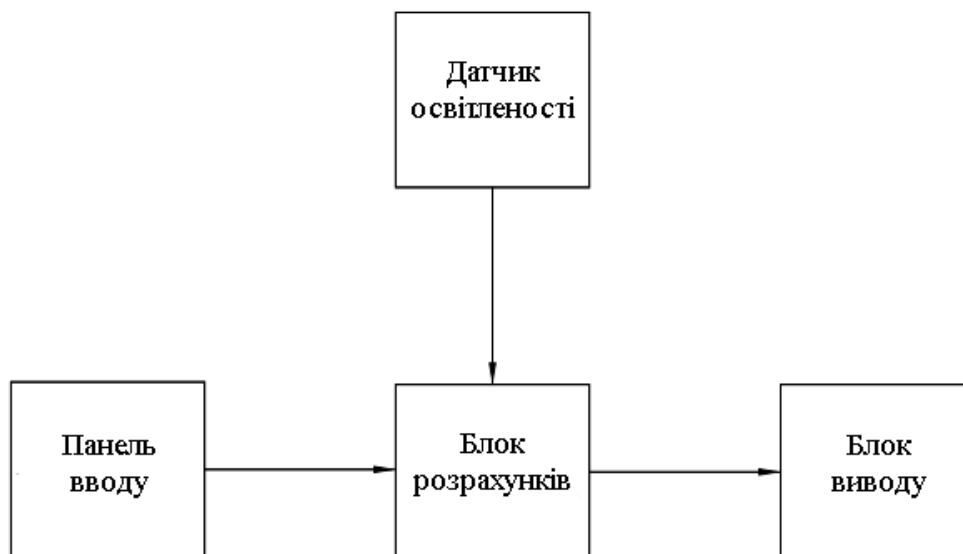


Рисунок 8. Структурна схема цифрового експонометра.

3.4 Вибір датчика освітленості.

Виходячи з технічних параметрів пристрою, які ми визначили раніше нам необхідно вибрати електронні компоненти, які допоможуть нам їх задовольнити.

Основою електронного експонометра є світлочутливий елемент. Нам необхідний елемент який працює у діапазоні від 1 до 100000 lux або у більш широкому. Під час проходження переддипломної практики серед ринкових зразків, що відповідають даним вимогам було вибрано датчик освітленості MAX44009 від Maxim Integrated. Цей датчик повністю задовольняє поставлені у технічному завданні вимоги.

3.4.1 Технічні характеристики напівпровідникового датчика освітленості MAX44009

Датчик освітленості MAX44009 може вимірювати освітленість у межах від 0,045 до 188000 лк, низьке енергоспоживання і вбудований 22-бітний АЦП.

Спектральна характеристика фотодіода на кристалі оптимізована для видимого світла і включає в себе ІЧ та УФ блокування. Блок адаптивного підсилення автоматично керує струмом на транзисторі. Датчик призначений для роботи у діапазоні напруги від 1.7 В до 3.6 В і у нормальному режимі роботи споживає 0.65 мкА.

Мале енергоспоживання датчика є дуже доречним, так як пристрій буде живитися від акумуляторної батареї невеликої ємності.

Інформацію від датчика можна отримувати за допомогою інтерфейсної шини I2C. Електроніка датчика розміщена всередині оптично прозорого (UTDFN-Opto) пакета. Фотодіод всередині ІС перетворює світло на струм, який потім обробляється схемою малої потужності в цифровий потік бітів. Він обробляється цифровим способом і зберігається у вихідному регістрі, який зчитується інтерфейсом I2C. Програмована функція переривання на мікросхемі

виключає необхідність постійного опитування пристрою для даних і призводить до значного енергозбереження.

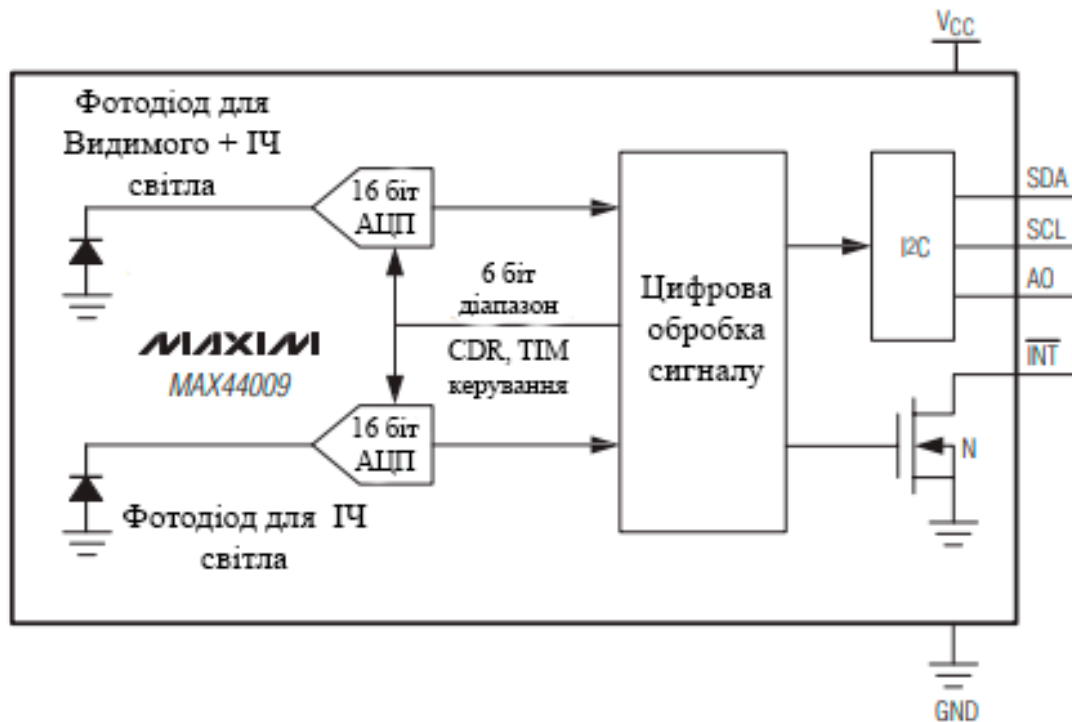


Рисунок 9. Внутрішня будова датчика MAX44009

Оптичний фільтр запобігає потраплянню у фотодіод ультрафіолетового та інфрачервоного діапазонів. Його оптична реакція також розрахована на відповідність спектральної реакції людського ока. Другий фотодіодний масив, чутливий в першу чергу до інфрачервоного спектра, ці дані потім використовується для нормалізації спектральної характеристики датчика.

Дві ключові особливості конструкції мікросхеми - її наднизьке споживання струму (зазвичай 0,65 мкА) і надзвичайно широкий динамічний діапазон вимірювання світла від 0,045 люкс до 188 000 люкс – це більш ніж 4 000 000 до 1. Схема автоматичного включення мікросхеми не вимагає втручання користувача для налаштування діапазону підсилення.

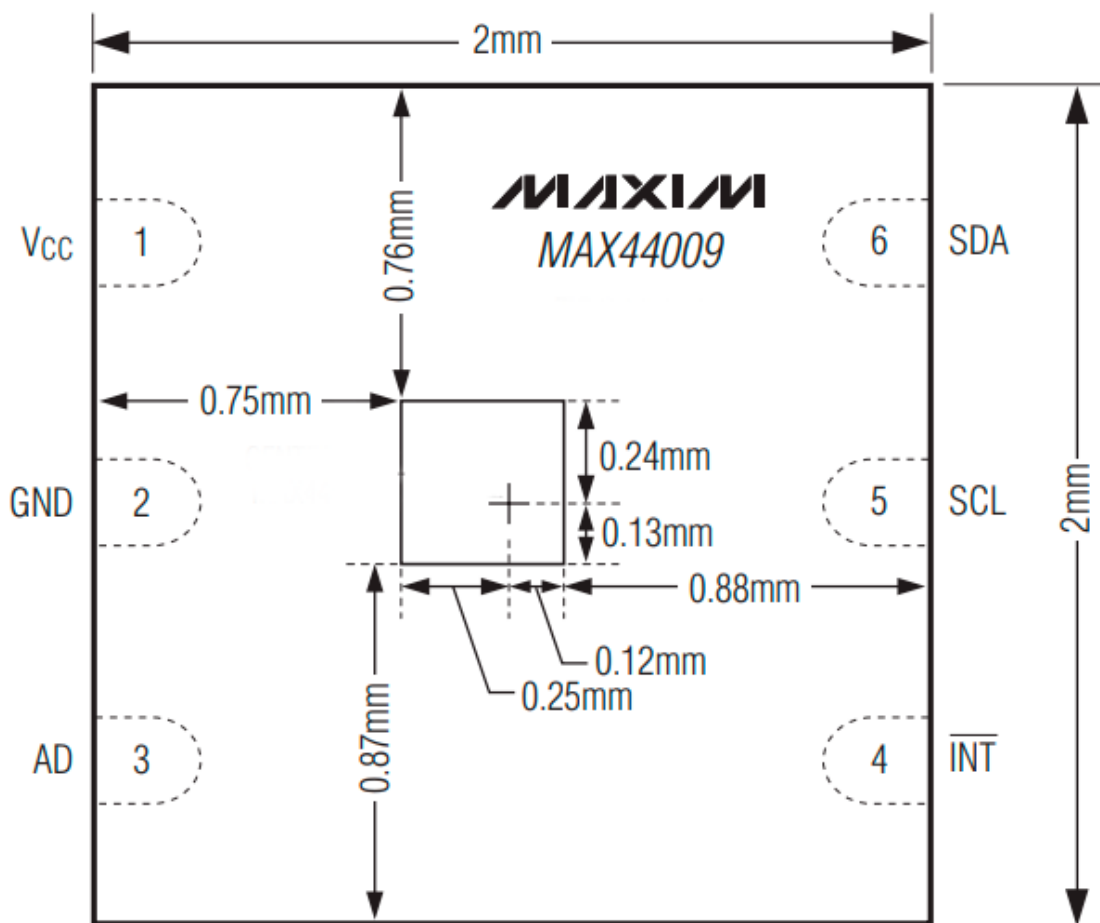


Рисунок 10. Фізичні розміри сенсору MAX44009

ІС може бути налаштована для роботи з підвищеною чутливістю в приладах, де вона повинна працювати ND-фільтром.

За замовчуванням час інтеграції АЦП становить 100 мс, що надає датчику стійкість до пульсацій 50 і 60 Гц пульсацій, що поширені у більшості джерел світла. ІС призначена для вимірювання освітленості у діапазоні людських очей,

що відповідає спектральному діапазону негативної фотоплівки.

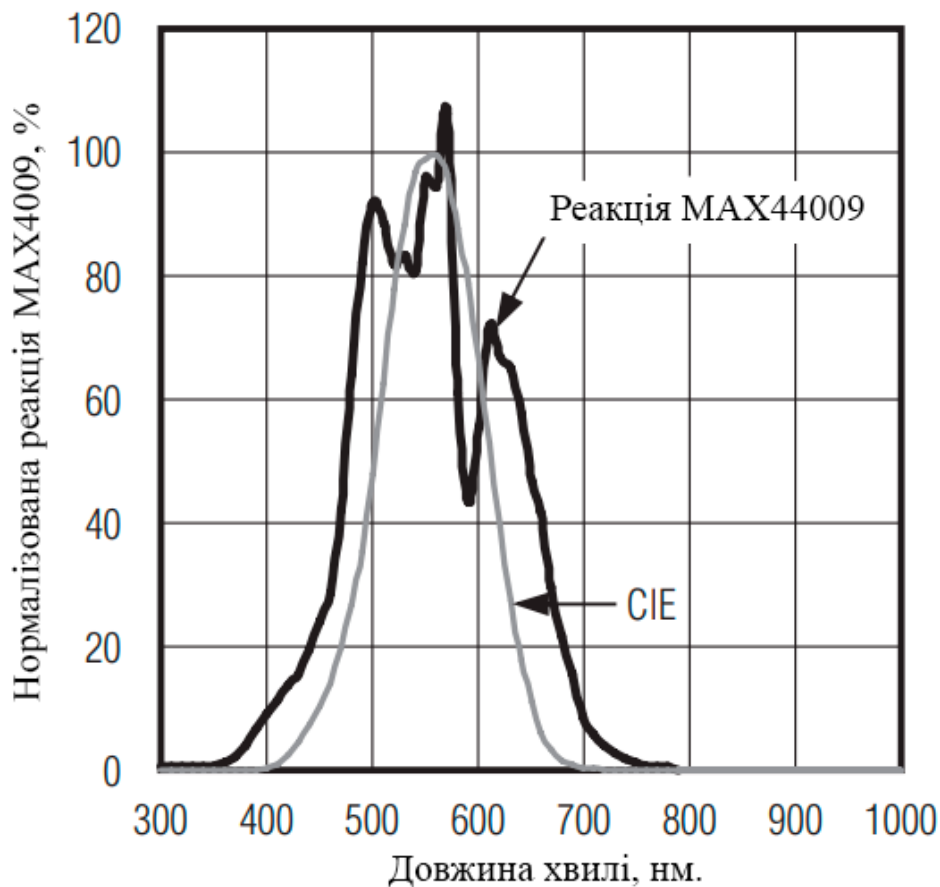


Рисунок 11. Залежність чутливості сенсору (MAX44009) та людського ока (CIE-крива) від довжини хвилі, %.

Як видно, людське око має свою пікову чутливість при 555 нм (зелений), а чутливість до синього (~ 470 нм) і червоного (~ 630 нм) значно нижча. Людське око також сліпе до інфрачервоного (> 700 нм) і ультрафіолетового (<400 нм) випромінювання.

Джерела світла можуть мати подібну видиму яскравість, але різний вміст ІЧ-випромінювання (тому що людське око не сприймає його). Відмінності в спектрах світла впливають на вимірювання яскравості, оскільки частина цього інфрачервоного випромінювання поглинається кремнієвими фотодіодами. Наприклад, джерела світла з високим вмістом інфрачервоного випромінювання,

наприклад, лампи розжарювання або сонячне світло, випромінюють набагато більше інфрачервоного світла, яке не сприймають наші очі. Інші джерела світла, такі як флуоресцентні та світлодіодні лампи та інші холодні джерела світла мають менший вміст інфрачервоного світла. Сенсор має внутрішню схему компенсації ІЧ-випромінювання, щоб мінімізувати ці ефекти і дати точні виміри освітленості.

Далі на рисунках графічно наведені деякі характеристики сенсору MAX44009.

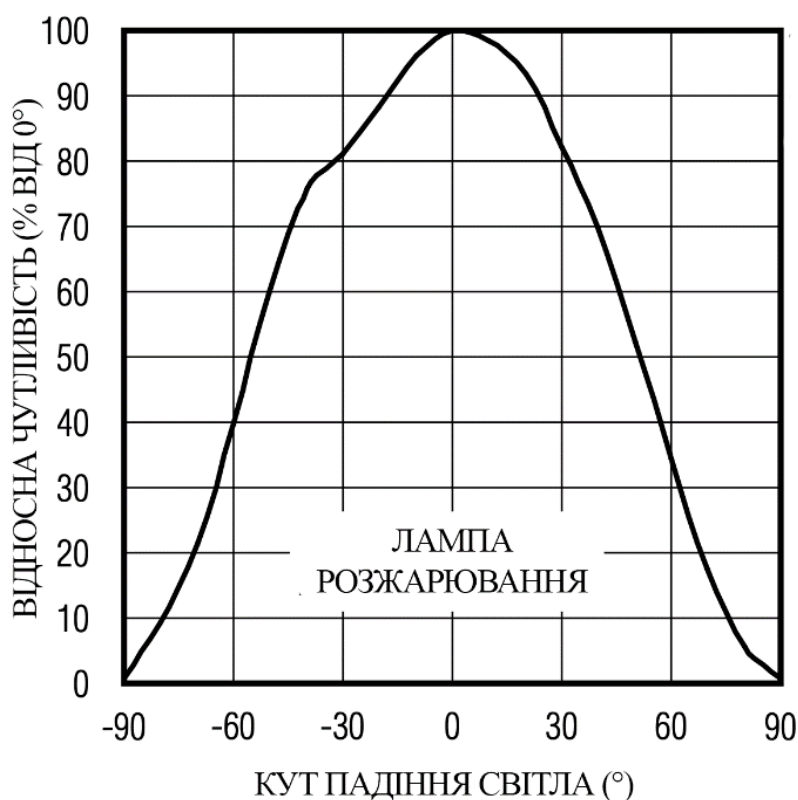


Рисунок 12. Графік залежності відносної чутливості сенсору від кута падіння світла на датчик % від 0 градусів.

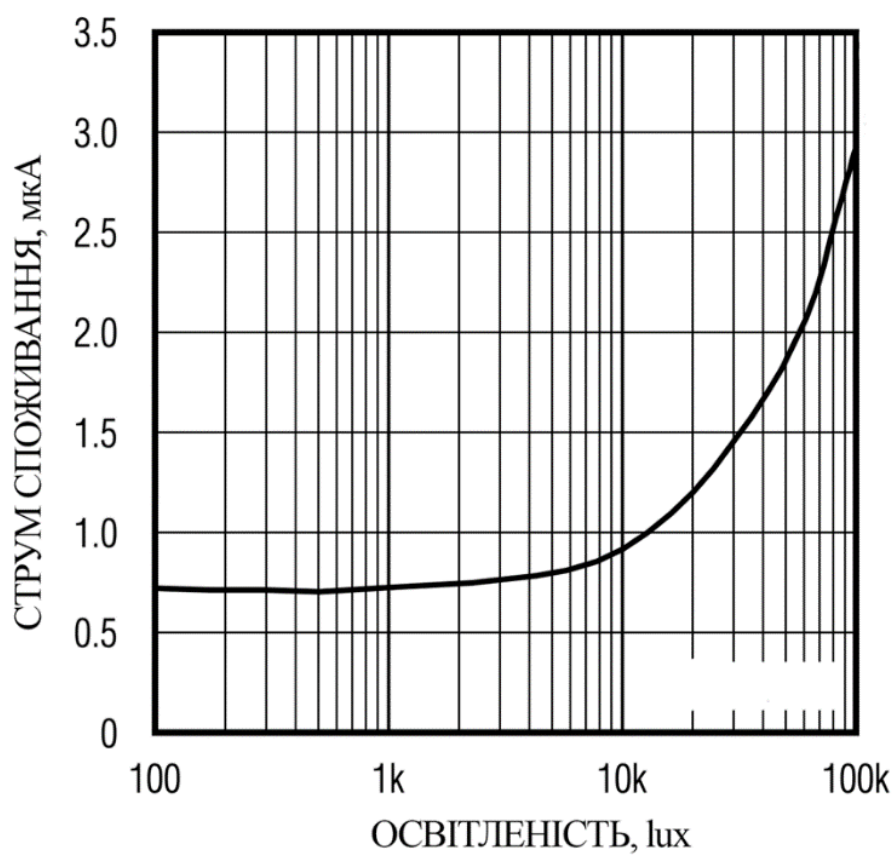


Рисунок 13. Графік залежності споживання струму, який споживає сенсор від вимірюваної в даний момент освітленості.

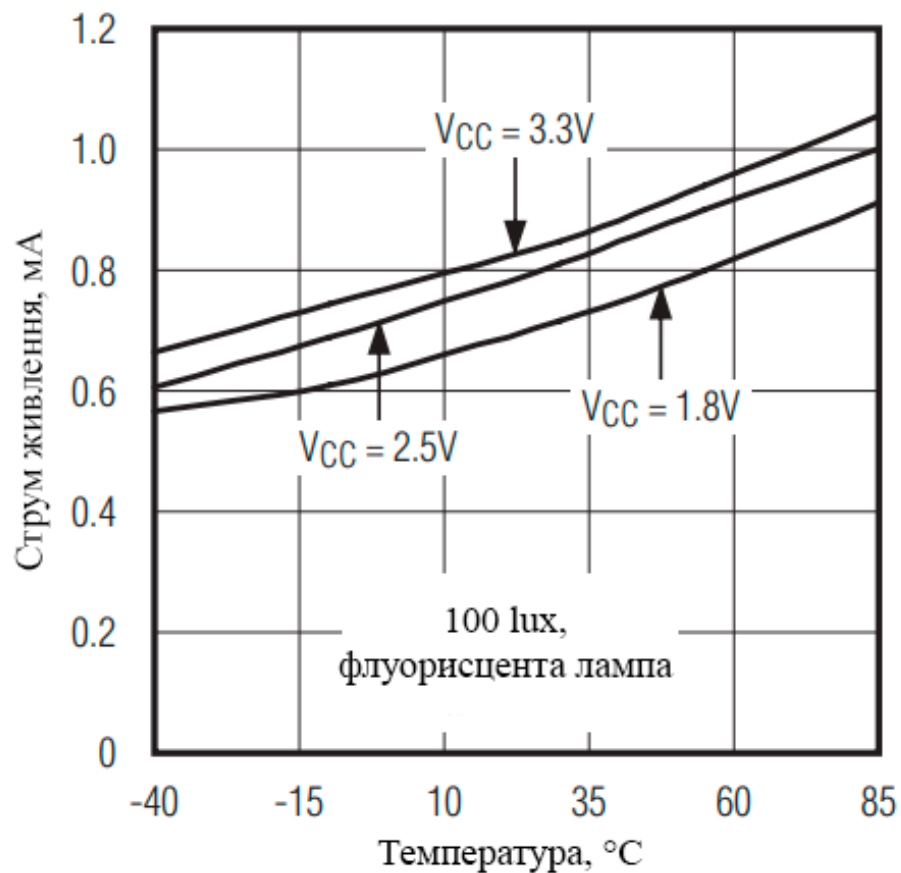


Рисунок 14. Залежність струму живлення MAX44009 від навколишньої температури.

3.6 Вибір модуля обробки даних.

Для обробки інформації, що надходить від датчика по протоколу I2C необхідно використовувати мікроконтролер. Вивчивши ринкові зразки та оцінивши їх переваги та недоліки було прийнято рішення використовувати мікроконтролер Atmega 385P від Atmel. Це високопродуктивний 8-розрядний мікроконтролер AVR RISC, який поєднує в собі 32KB ISP флеш-пам'ять з можливістю читання-запису, 1 кб EEPROM, 2KB SRAM, 23 ліній вводу-виводу загального призначення, 32 робочих регістру загального призначення, три гнучкі таймера-лічильника з режимами порівняння, внутрішніми і зовнішніми перериваннями, послідовним програмованим USART, байтовим орієнтованим

послідовним інтерфейсом I2C, послідовним портом SPI, 6-канальним 10-бітовим АЦП, програмований сторожовий таймер з внутрішнім осцилятором і п'ятьма режимами енергозбереження, які можна обирати за допомогою програмного забезпечення. Пристрій працює від 1,8 до 5,5 В.

Виконавши всі інструкції в одному тактовому циклі, пристрій досягає пропускної здатності, що наближається до 1 MIPS на МГц, балансуючи у собі споживання енергії і швидкість обробки. ATmega 328P має наступні параметри:

1. Тип пам'яті програми – Flash.
2. Розмір пам'яті програми (КБ) – 32.
3. Швидкість процесора (MIPS / DMIPS) – 20.
4. SRAM Байти - 2,048.
5. Дані EEPROM / HEF (байти) – 1024.
6. Комп'ютерна периферія 1-UART, 2-SPI, 1-I2C.
7. Захоплення / порівняння / периферійні пристрої PWM-1, 1 CCP, 6 PWM.
8. Таймери - 2 x 8-бітний, 1 x 16-бітний.
9. Кількість компараторів – 1.

3.5 Вибір модуля виводу інформації

У якості модуля виводу прийнято рішення використовувати OLED-дисплей роздільною здатністю 128x64 з контролером SSD1306 та інтерфейсною шиною I2C і діагоналлю 0.96".

SSD1306 - це однокристальний драйвер CMOS OLED або PLED з контролером для графічної системи відображення матриць з органічними або полімерними діодми. Вона складається з 128 сегментів і 64 загальних. Ця мікросхема призначена для типової OLED-панелі типового типу. SSD1306

вбудовується з контрастним управлінням, відображає оперативну пам'ять і генератор, що знижує кількість зовнішніх компонентів і споживання енергії. Він має 256-ступінчатий крок керування яскравістю.

З особливостей васто відмітити:

Дисплей має високу контрастність, таким чином, дислей не потрібно додатково підсвічувати.

Робоча напруга: 2.7 В - 5.5 В, що повністю відповідає іншим модулям у проекті. Розмір друкованої плати: 2,8 x 3,2 см. Це стандартна двостороння друкована плата, товщиною 1,16 мм.

Дисплей має низьке споживання енергії: 0,04 Вт під час нормальної роботи.

Цей дисплей є ідеальним варіантом з точки зору протоколу керування, який вже використовується у приладі (I2C), компактності та енергоспоживання.

3.7 Розробка електронної схеми пристрою

У якості модуля вводу інформації прийнято рішення використовувати 3 тактові кнопки з підтягуючими резисторами опором 10 кОм кожен.

З цих компонентів та пасивних елементів обв'язки створимо електричну схему майбутнього приладу.

**Табл
иця
3.**

Пере
лік
комп
онент
ів,
вико
риста
них у
схемі
.

Номер	Позначення	Тип елемента	Кількість, шт
1	U1	Atmel ATmega 328P	1
2	OLED	OLED SSD1306	1
3	U2	MAX44009	1
4	U3	LM7805EE	1
5	R1-R2	1 кОм +- 1%	2
6	R3	330 кОм +- 1%	1
7	R5-R6	1 кОм +- 1%	2
8	R7	330 кОм +- 1%	1
9	R8-R10	1 кОм +- 1%	2
10	C1	1 кОм +- 1%	1

11	Y1	16 МГц	1
12	SW1-SW4	DHT1163SS	4
13	D1, D4		4

3.8 Розробка алгоритму роботи приладу

Алгоритм роботи датчика наведений на **Рисунку 15**.

Датчик зчитує навколишню освітленість та за запитом I2C MASTER записує інформацію у LOW BYTE та HIGH BYTE. Після цього перевіряється зовнішнє переривання, і якщо воно відсутнє датчик ніңціює внутрішнє переривання і цикл повторюється.

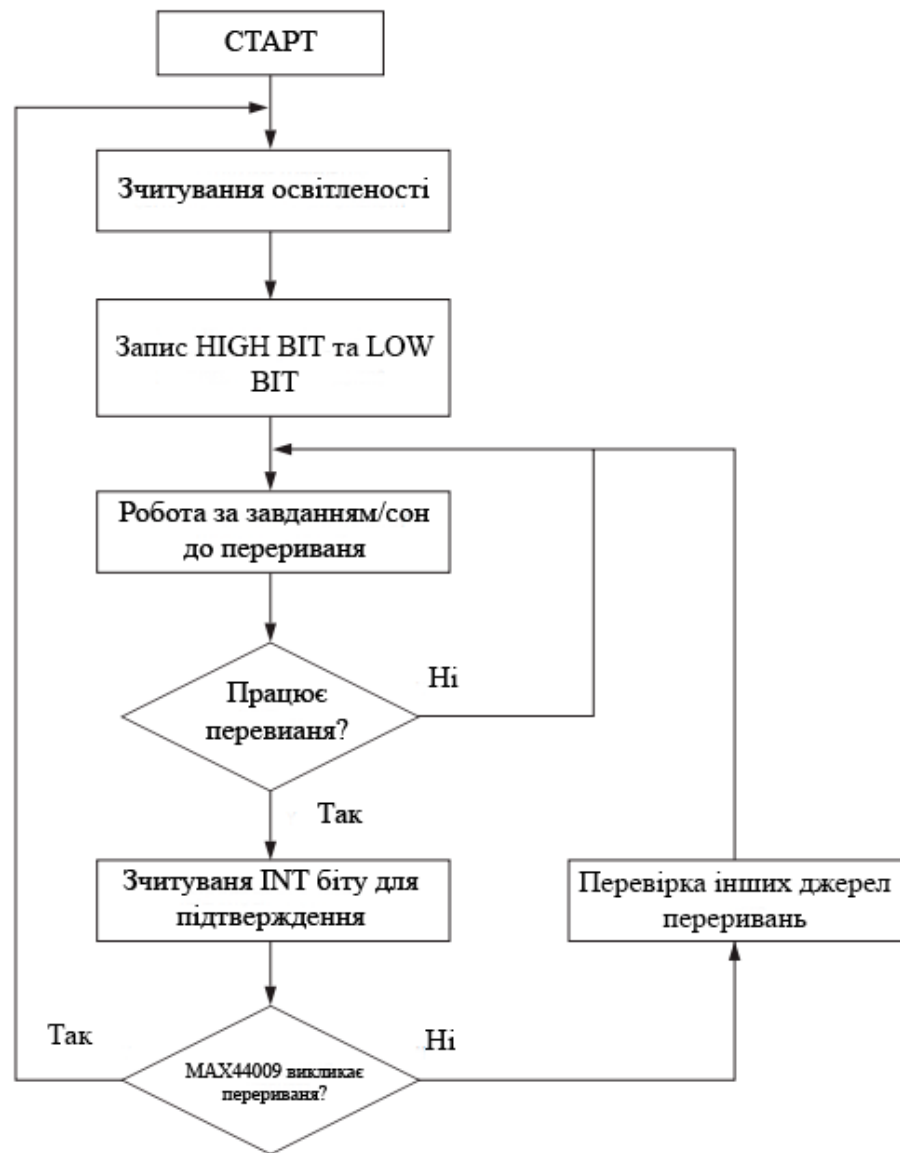


Рисунок 16. Алгоритм опитування датчика освітленості MAX44009.

3.9 Розробка програмного забезпечення приладу

Під час розробки програмного забезпечення для пристрою було використано бібліотеки для керування OLED дисплеєм, що розповсюджуються на за OpenSource ліцензією, такі як Adafruit GFX та Adafruit SSD1304. Програмне забезпечення через протокол I2C зчитує з пам'яті MAX44009 освітленість за таким алгоритмом: I2C master відправляє запит на зчитування даних, зчитується HIGH BITE та LOW BITE.

Таблиця 4. Структура LOW BYTE.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	REGISTER ADDRESS
E3	E2	E1	E0	M7	M6	M5	M4	0x03

Таблиця 5. Структура HIGH BYTE.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	REGISTER ADDRESS
—	—	—	—	M3	M2	M1	M0	0x04

Біти в регістрі 0x03 HIGH BYTE дають 4 біта експоненти E3: E0 і 4 найбільш значущих біта байта мантиси.

M7: M4, і представляють освітленість навколишнього середовища. Низькобайтовий регістр 0x04 і підвищує роздільну здатність зчитування освітленості з ІМС.

Exponent (E [3: 0]): Множник розширення динамічного діапазону (0000 - 1110).

Mantissa (M [7: 4]): Освітленість (0000-1111).

Освітленість вираховується за такою формулою:

$$\text{Lux} = 2^{(\text{Exponent})} * \text{Mantissa} * 0.045.$$

$$\text{Exponent} = 8xE3 + 4xE2 + 2xE1 + E0.$$

$$\text{Mantissa} = 8xM7 + 4xM6 + 2xM5 + M4.$$

Код 0000 0001 обчислюється як 0,045 люкс.

Код 1110 1111 обчислює 176 947 люкс.

Код 1110 1110 обчислює 181 081 люкс.

Оновлення вмісту цього реєстру внутрішньо відключається під час операцій читання I2C для забезпечення належної передачі даних між

внутрішніми регістрами АЦП і I2C. Оновлення регістрів I2C відновлюється, коли майстер посилає команду STOP.

Якщо користувач хоче прочитати як регістр Lux High-Byte 0x03, так і Low Byte регістр 0x04, то майстер не повинен відправити команду STOP між зчитуваннями двох регістрів. Замість цього слід використовувати повторну команду START.

Це забезпечує отримання точних даних з регістрів I2C (шляхом відключення внутрішніх оновлень під час процесу читання).

3.9.1 Лістинг програмного забезпечення приладу

Лістинг програмного забезпечення на мові C++:

```
#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Wire.h>

#include <MAX44009.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define OLED_RESET 4

Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

#define SSD1306_128_64

#define SSD1306_I2C_ADDRESS 0x3C

MAX44009 Lux(0x4A);

void setup () {

    Lux.Begin(0, 188000);
```

```
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);

Wire.begin();

display.display();

delay(2000);

}

void loop() {

float l = Lux.GetLux();

float Wpm = 0;

float w = Lux.GetWpm();


display.clearDisplay();

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(10,2);

display.print("Lux:");

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(40,2);

display.print(l);


float K = 210.45;
```

```

float F = 5.6;

int ISO = 400;

float SHUTTER = (K*(F*F))/(I*ISO);

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(10,11);

display.print("ISO400, F5.6, T");

display.setTextSize(1);

display.setTextColor(WHITE);

display.setCursor(10,20);

display.print(SHUTTER);

display.invertDisplay(false);

display.display();

delay(300);

}

```

Логіка програмного забезпечення базується на насупному нескінченному циклі операцій:

1. Запит по I2C шині до MAX44009.
2. Зчитування LOW BIT та HIGH BIT.
3. Обробка LOW BIT та HIGH BIT, отримання освітленості у люксах.
4. Зчитування стану змінних, введених користувачем (ISO, F).
5. Вирахування T з отриманих даних.

6. Вивід результатів на OLED-дисплей.

7. Затримка 300 мілісекунд.

Аналіз роботи програмного забезпечення підтвердив його працездатність.

3.10 Виготовлення діючого макету.

Для виготовлення діючого макету було прийнято рішення використовувати промислові модулі з компонентами, які були вибрані для приципової схеми.

Промисловий модуль з розпаяним датчиком MAX44009 – модуль GY-49.

Промисловим модульним рішенням для прототипування діючого макету є OpenSource платформа Arduino Nano з процесором Atmel ATmega 328P. Розпаяна плата окрім процесора вже містить лінійний стабілізатор напруги LM7805EE та необхідну резисторну обв'язку у вигляді резисторів R1-R3 та кварцовий генератор на 16 МГц.

Підтягування I2C лінії до лінії 5V резисторами було вирішено здійснити на макетній платі, модулі між собою поєднано дротом МГТФ.

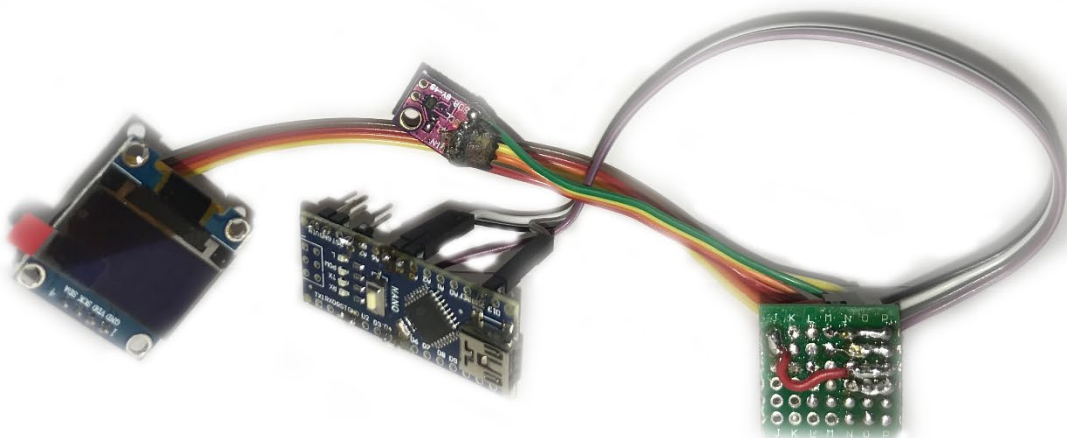


Рисунок 17. Вигляд діючого макету приладу у зібраному стані.

3.11 Наладка пристрою.

Під час наладки діючого макету буда використана наступна установка.

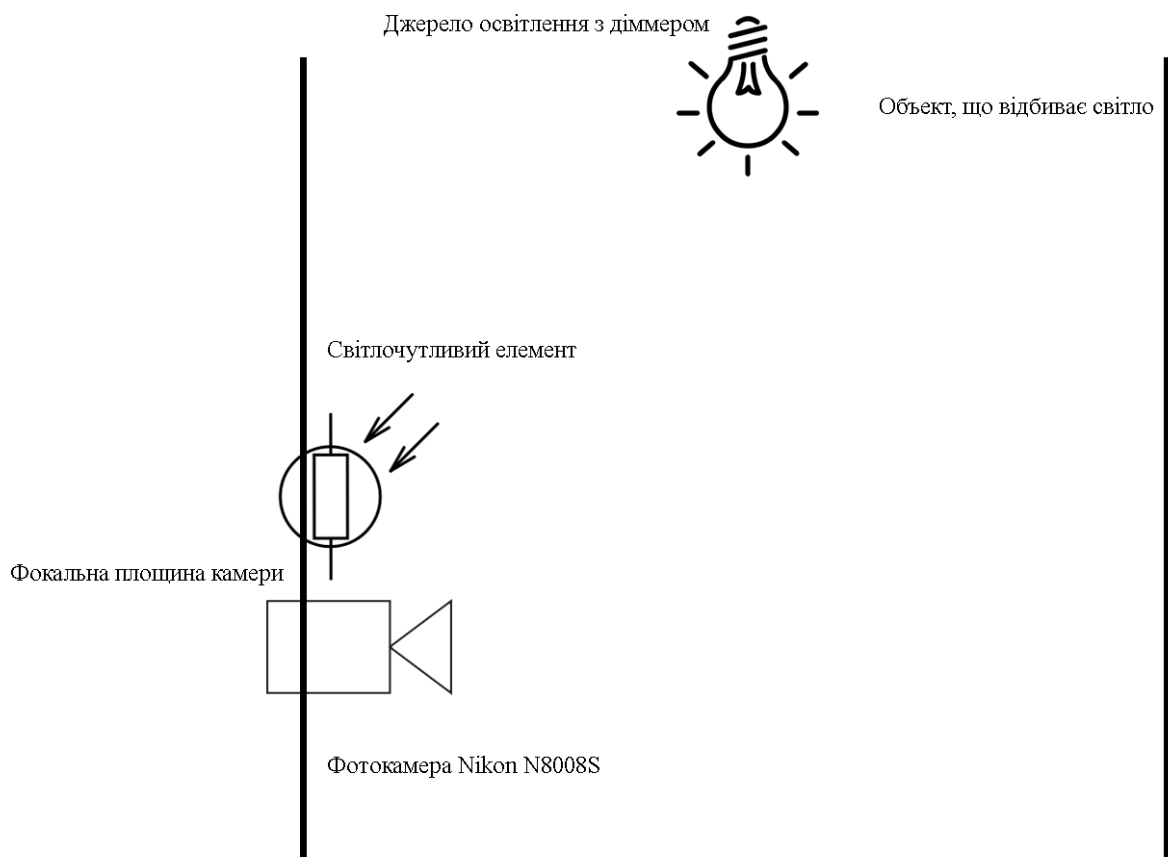


Рисунок 18. Установка для наладки (юстування) діючого макета.

Світлочутливий елемент закріплювався на штативі у фокальній площині фотокамери Nikon N8008S та за допомогою зміни освітленості об'єкта, що перебуває у фокусі камери встановлювалася залежність між показниками EV вбудованого у камеру експометра та показниками з датчика MAX44009.

На основі цих даних були внесені зміни у програмний код задля наближення показників EV розробленого пристрою та камери.

ВИСНОВКИ

Під час написання дипломної роботи було виконано такі поставлені керівником задачі:

1. Проведено аналіз методів вимірювання освітленості.
2. Зроблений огляд конструкції експонометрів.
3. Поставлені технічні вимоги до розроблюваного приладу.
4. Розроблена структурна схема цифрового експонометра.
5. Обраний тип світлочутливого елемента та описані його основні характеристики.
6. Розроблений алгоритм обробки сигналу зі світлочутливого елемента експонометра.
7. Розроблене програмне забезпечення для пристрою.
8. Виготовлено діючий макет приладу та протестовано його працездатність.
9. Проведена наладка діючого макету.

Виготовлення діючого макету підтвердило повну працездатність приладу. Також можна відмітити, що даний прилад можливо дуже сильно зменшити в розмірах, якщо виготовити багат шарову друковану плату.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Л. Гонт. 1989. Експозиція у фотографії: с. 90.
2. Г. Андерег, Н. Панфілов. 1977. Справочная книга кинолюбителя: с. 192-199.
3. К. Уэстон. 2008. Експозиція у цифровій фотозйомці (Mastering digital exposure and HDR imaging): с. 18-20.
4. Э. Фогель. 1985. Кишеньковый довідник з фотографії: с. 368.
5. Modern Photography's Annual Guide to 47 Top Cameras: Beseler Topcon Super D. 1969. No.12: с. 91.
6. Р. Аарон Гаммонс. Rotolight и Seconic — сотрудничество во имя совершенства. «MediaVision» журнал. — 2015. Сентябрь (№ 7/57): с. 91.
7. В. Анцев. 1980. Зонна система при експонуванні: с. 39-40.
8. Б. Бакст. 2007. Gossen — эталон точності: с. 12-22.
9. Гордийчук О. Ф., Пелль В. Г. 1979. Розділ II. Кінозйомочні апарати: с. 68-142.
10. О. Ф. Гребенников. 1971. Кінозйомочна апаратура: с. 352.
11. В. Е. Джакония. 2002. Телебачення: с. 311-316.
12. К. Г. Ершов 1988. Кінозйомочна техніка: с. 272.
13. Е. А. Иофис. 1981. Фотокінотехніка: с. 18-20.
14. А. Никитин. 1934. Новый экспонометр: с. 42-43.
15. Н. Д. Панфилов, А. А. Фомин. 1985. Короткий довідник фотолюбителя: 148-167.
16. Л. Пренгель. 1992. Практика кольорової фотографії: 72-79.
17. А. В. Редько. 1999. Фотографічна зйомка: 105-111.
18. С. А. Саломатин, И. Б. Артишевская, О. Ф. Гребенников. 1990. Професійне кінозйомочне обладнання: с. 103.
19. Г. А. Федотов. 1991. Електричні і електронні прилади для фотографії: с. 75-89.

20. М. Фризо. 2008. *Nouvelle Histoire de la Photographie*: с. 233-242.
21. Д. Хеджкоу. 2004. *Фотографія*: с. 264.
22. Э. Хокинс, Д. Эйвон 1968. *Фотография: Техніка і арт*: с. 56-65.
23. К. В. Чибисов. 1987. *Очерки по истории фотографии*: с. 96-105.
24. М. Я. Шульман. 1984. *Фотоаппарати*: с. 142.
25. М. Шульман. 1968. *Методи точного виміру*: с. 37-38.